

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

Masaki SUGIYAMA, et al.

Application No.:

Group Art Unit:

Filed: January 29, 2004

Examiner:

For: OPTICAL WAVEGUIDE, OPTICAL DEVICE, AND METHOD OF MANUFACTURING
OPTICAL WAVEGUIDE

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN
APPLICATION IN ACCORDANCE
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Commissioner for Patents
PO Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicant(s) submit(s)
herewith a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No(s). 2003-079116


Filed: March 20, 2003

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing
date(s) as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the
requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: January 29, 2004

By: 
H. J. Staas
Registration No. 22,010

1201 New York Ave, N.W., Suite 700
Washington, D.C. 20005
Telephone: (202) 434-1500
Facsimile: (202) 434-1501

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 3月20日
Date of Application:

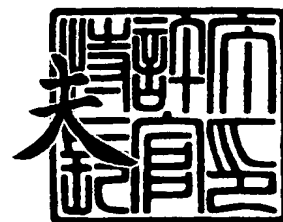
出願番号 特願2003-079116
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP 2003-079116]

出願人 富士通株式会社
Applicant(s):

2003年12月 9日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井 康



【書類名】 特許願

【整理番号】 0253592

【提出日】 平成15年 3月20日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/122

【発明の名称】 光導波路、光デバイスおよび光導波路の製造方法

【請求項の数】 5

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内

 【氏名】 杉山 昌樹

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内

 【氏名】 中澤 忠雄

【特許出願人】

 【識別番号】 000005223

 【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100104190

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 酒井 昭徳

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 041759

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9906241

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光導波路、光デバイスおよび光導波路の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に形成される光導波路の一部が曲がった曲がり部を有する光導波路において、

前記曲がり部の両側に位置する前記基板を、前記曲がり部の形状に沿って掘り下げ形成したリッジ構造部と、

前記リッジ構造部の少なくとも前記曲がり部に面する側面に、前記基板が有する屈折率よりも低屈折率の材質を用いて膜形成したバッファ層と、

を備えたことを特徴とする光導波路。

【請求項 2】 前記リッジ構造部は、前記曲がり部の外側に形成したことを特徴とする請求項 1 に記載の光導波路。

【請求項 3】 基板上に形成される光導波路の一部が曲がった曲がり部を有する光導波路と、

前記光導波路の前記曲がり部の両側に位置する前記基板を、前記曲がり部の形状に沿って掘り下げ形成したリッジ構造部と、

前記リッジ構造部の少なくとも前記曲がり部に面する側面に、前記基板が有する屈折率よりも低屈折率の材質を用いて膜形成したバッファ層と、

前記光導波路の上部に該光導波路に沿って配置された信号電極と、

を備えたことを特徴とする位相変調可能な光デバイス。

【請求項 4】 前記光導波路は、分岐部から 2 分岐する形で 2 つ平行に配置され、

前記 2 つの各光導波路の上部に、それぞれの光導波路に沿って配置された信号電極と、

を備えたことを特徴とする請求項 3 に記載の位相変調可能な光デバイス。

【請求項 5】 基板上に光導波路を形成する光導波路の製造方法において、光導波路となる曲がり部を含むパターン形成を、チタン (Ti) を用いて行うパターン形成工程と、

前記パターン形成工程により形成された前記チタンのパターンを高温中で熱拡

散させる熱拡散工程と、

前記熱拡散工程により形成された光導波路のうち、前記曲がり部の両側、あるいは外側に位置する前記基板を、前記曲がり部の形状に沿ってエッチングによりリッジ構造部を掘り下げ形成するリッジ形成工程と、

前記リッジ形成工程により形成された前記リッジ構造部の少なくとも前記曲がり部に面する側面に、前記基板が有する屈折率よりも低屈折率の材質を膜形成するバッファ層形成工程と、

を含むことを特徴とする光導波路の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、光通信で用いられる光導波路に関し、特に、曲がり部分の曲率を小さくでき、光デバイスを小型化できる拡散型導波路の光導波路と、この光導波路を用いてなる光デバイス、および光導波路の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

光導波路が形成された光デバイスは、LN基板（LiNbO₃：ニオブ酸リチウム）などの電気光学結晶を用い、結晶基板上の一部にチタン（Ti）などの金属膜を形成し、この金属膜を熱拡散させる等により形成される。このような光導波路が形成された光デバイスを複数連結する場合などには、光導波路の一部に曲がり光導波路を形成させている。曲がり光導波路を設けることにより、直線状の光導波路を折り曲げることができるため、光デバイスの小型化、特に長さ方向の小型化を図ることができ、この光デバイスを搭載する装置の小型化を図ることができる。

【0003】

光導波路の一部に曲がり導波路を形成した場合、曲がり導波路部分で生じる光損失（放射損失）が問題となる。従来、この曲がり導波路部分における損失を抑えるものとして、曲がり光導波路の外周に反射部を設けることにより、曲がり光導波路部分で放射した光を光導波路に再結合させる技術が提案されている（例え

ば、特許文献1参照。)。

【0004】

次に、光導波路を用いて構成される光デバイスの一例について説明する。図16は、従来の光デバイスの例として光変調器を示す平面図である。この光変調器20は、マッハツェンダ干渉型の光変調器であり、直線型の光導波路を備えてなる。基板21上には、DC等の電気信号が供給される信号ライン22が長手方向に所定長さL0を有して形成される。信号ライン22の両端部は、基板21の一方の側部に導出され、信号電極22a, 22bが形成されている。信号ライン22を除く基板21上の他の領域には、接地電極23が形成されている。光導波路24は、信号ライン22に沿って直線状に配置されたもので、分岐部24a, 24b間に光導波路24が2つ平行に配置されている。

【0005】

信号ライン22に電気信号が供給され、2つの光導波路24に光信号が供給されることにより、信号ライン22に供給される電気信号（マイクロ波）の進行波の速度と、2つの光導波路24を流れる光波の速度とを整合させた状態で、2つの光導波路24同士間での相互干渉による位相差を生じさせることができる。位相差の生成には、平行な2つの光導波路24の長さとして、所定の作用長（上記長さL0に相当）が必要である。L0の長さには、数cm必要である。

【0006】

【特許文献1】

特開平11-167032号公報

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記従来の技術を用いても、曲がり光導波路の曲率を小さく設定することができなかった。例えば、曲がり光導波路の曲率を数mm程度に小さく設定した場合には、光の再結合が不十分となり、光損失が著しく増大するという問題があった。このように、曲がり光導波路部分の曲率を小さくできない場合、光導波路全体を小さくすることができず、この光導波路が形成された光デバイスの小型化や、集積化を図ることができない。例えば、図16に示したような光

デバイスの光導波路の一部に曲がり光導波路を形成したとしても、光デバイスの小型化を図ることができないことになる。

【0008】

この発明は、上記問題点に鑑みてなされたものであって、小型で光損失を抑えることができる光導波路、光デバイス、および光導波路の製造方法を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明は、基板上にチタンを熱拡散等で形成した光導波路の一部が曲がった曲がり部を有する。この曲がり部の両側に位置する前記基板を、前記曲がり部の形状に沿って掘り下げてリッジ構造部を形成し、リッジ構造部の少なくとも前記曲がり部に面する側面には、前記基板が有する屈折率よりも低屈折率の酸化シリコン等の材質を用いてバッファ層を形成することを特徴とする。

【0010】

この発明によれば、光導波路のうち、曲がり部の両側に設けたリッジ構造部は、空気がクラッドとなり、横方向の屈折率差が大きくなり、曲がり部の曲率が小さくても放射損を抑えることができる。また、バッファ層は、リッジ構造部の側面の荒れによる散乱損を抑える。これにより、曲がり部の曲率が小さくても光損失を抑えることができ、この光導波路が形成された光デバイスの小型化を図ることができる。

【0011】

【発明の実施の形態】

以下に添付図面を参照して、この発明にかかる光導波路と、この光導波路を用いてなる光デバイス、および光導波路の製造方法の好適な実施の形態を詳細に説明する。

【0012】

(実施の形態1)

実施の形態1は、この発明の光導波路に関するものである。図1は、この発明

の光導波路の実施の形態 1 の構成を示す平面図、図 2 は、図 1 の断面図である。図 1 には、光導波路の要部である曲がり部を主に示している。光導波路 1 は、チタン拡散ニオブ酸リチウム (Ti-LiNbO_3) 拡散導波路である。図示の曲がり部 1 a は、円弧状に 180° の折り返し角度を有して折り返した形状である。光導波路 1 のパターン幅 L は、光のモードフィールドを小さくするために $5 \sim 9 \mu\text{m}$ に設定している。光導波路 1 を伝搬する光波は、一般にシングルモード (SM) の光であるが、この発明の光導波路 1 の光伝搬モードは SM に限定されるものではない。

【0013】

図 2 に示すように、光導波路 1 のうち、少なくとも曲がり部 1 a 部分の両側には、基板 2 を掘り下げてリッジ構造部 3 を形成する。このリッジ構造部 3 は、基板 2 をエッチングして形成する。光導波路 1 中を伝搬する光のパワーは、表面から約 $3 \mu\text{m}$ の位置で最大となるので、エッチングにより形成するリッジ構造部 3 の深さ d は、 $3 \mu\text{m}$ 以上に設定している。リッジ構造部 3 では、空気 (屈折率 1) がクラッド相当となり、光の進行方向横方向における基板 2 (屈折率 2.2) と、空気との屈折率差が大きくなり、曲がり部 1 a の曲率を小さくしても放射損を抑えることができる。

【0014】

ただし、基板 2 を掘り下げて形成したリッジ構造部 3 は、側面 3 a 部分が滑らかではなく荒れが生じている。光導波路 1 の曲がり部 1 a に面している側面 3 a に荒れがあると、この曲がり部 1 a 部分での光損失を生じさせる。すなわち、側面 3 a の面が荒れている状態だと、光損失のうち散乱損が大きくなる。この散乱損を防ぐために、リッジ構造部 3 の側面 3 a の表面に膜状のバッファ層 4 を形成する。バッファ層 4 としては、基板 2 の屈折率より小さい屈折率を有する材質、例えば、酸化シリコン (SiO_2) や、酸化チタン (TiO_2) を用いることができる。

【0015】

リッジ構造部 3 は、側面 3 a により光のフィールドを閉じ込めるため、リッジ構造部 3 の幅 W は、光導波路 1 の幅 L に対して $+6 \mu\text{m}$ (光導波路 1 の中心に対

して両側部がそれぞれ $3\ \mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。

【0016】

図3は、この発明による光導波路の光損失を説明するための図表である。図中横軸は、光導波路1の曲がり部1aの曲率（半径）Rであり、縦軸は、光損失（過剰損）である。図示のように、この発明の光導波路1のように、リッジ構造部3と、バッファ層4を設けた構成（図中○印）においては、曲率Rが4mm以下に小さく設定した場合であっても、光損失を抑えることができる。これに対して、従来の光導波路、すなわち、リッジ構造部3およびバッファ層4を形成しない構成（図中◇）では、曲率Rが4mm以下全ての範囲において光損失が高いことが示されている。なお、バッファ層4を設けずに、リッジ構造部3を設けただけの構成（図中△）であっても、従来に比して光損失を抑えることができることが示されている。

【0017】

図4は、この発明による光導波路の製造工程を説明するための図である。光導波路1の製造工程は、はじめに、図4（a）に示すTiパターン形成を行う。LN基板2全面にTiを蒸着形成した後、曲がり部1aを含む光導波路1の配置に沿ってレジストパターンを形成する。この後、エッチングにより光導波路1を形成させる。

【0018】

この後、図4（b）に示す熱拡散を行う。光導波路1を高温中で熱拡散させることにより、図2に示したように、Tiの光導波路1は、基板2内部で断面が略半円状に熱拡散される。この状態で、光導波路1は、円のほぼ中心部が最も屈折率が高く、光波を閉じ込めて導波させることができるようになる。この工程では、上記の熱拡散に代えて、安息香酸中でプロトン交換させることにより、光導波路1を形成させることもできる。

【0019】

この後、図4（c）に示すエッチングを行う。上述したように、光導波路1のうち、少なくとも曲がり部1a部分に位置する基板2は、エッチングによる掘り下げでリッジ構造部3を形成する。このエッチングの工程は、一般的な反応性イ

オンエッチング (RIE: reactive ion etching) 等で行うことができる。このエッチング時には、上述した光導波路 1 のパターン幅 L (図 2 参照) を基準として、リッジ構造部 3 として必要な幅 W と、深さ d を満たすように行う。

【0020】

この後、図 4 (d) に示すバッファ層形成を行う。バッファ層 4 は、スパッタリング等により、リッジ構造部 3 の側面 3 a を覆う如く製膜される。以上の各工程により、基板 2 上にリッジ構造部 3 およびバッファ層 4 を有した状態で光導波路 1 を形成することができる。

【0021】

以上説明した光導波路 1 は、曲がり部 1 a にのみリッジ構造部 3 と、バッファ層 4 を設ける構成としたが、この曲がり部 1 a に連続する直線部等に対しても、これらリッジ構造部 3 と、バッファ層 4 を設ける構成としてもよい。また、図 1 に示した光導波路 1 は、曲がり部 1 a を円弧状に 180° 折り返した構成としたが、曲がり部 1 a の曲げ角度は、これに限らない。例えば、 90° 以上あれば光波の入力方向に対して出力方向を異なる方向に向けることができる。

【0022】

次に、上記光導波路 1 の変形例についてそれぞれ説明する。図 5 は、光導波路の変形例を示す断面図である。図 5 に示す例は、光導波路 1 の幅 L をリッジ構造部 3 の幅に一致するよう構成したものである。このような光導波路 1 は、光導波路 1 の T i パターン形成時に、レジストパターンの幅をリッジ構造部 3 の幅 W より広げ、この後の拡散時にベタ拡散を行うことにより形成できる。このようにして形成した光導波路 1 は、図 2 の断面形状に比べて平らに形成されることになる。

【0023】

次に、図 6 は、光導波路の他の変形例を示す平面図である。光導波路 1 を曲がり部 1 a と、直線部 1 b とを接続して構成するとき、これら曲がり部 1 a と、直線部 1 b は、それぞれの光損失を最小にするために、直線部 1 b のパターン幅 L_1 と、曲がり部 1 a のパターン幅 L_2 が異なることがある。このような場合、直

線部 1 b と曲がり部 1 a の連結個所に変換部 5 が設けられる。図 6 に示す変換部 5 は、段差を有して形成されている。また、図 7 は、変換部の他の構成例を示す部分平面図である。図 7 に示すように、変換部 5 の形状をテーパ状に形成してもよい。変換部 5 をテーパ状に形成することにより、変換部 5 における結合損失を小さくすることができる。

【0024】

次に、図 8 は、光導波路の他の変形例を示す平面図である。図 8 に示す構成は、リッジ構造部 3 に対して、光導波路 1 の曲がり部 1 a の配置を内側にずらしたものである。図 1 に示したように、曲がり部 1 a は、リッジ構造部 3 の中央位置を通るように配置させるに限らない。図 8 に示す例では、パターン幅 L を有する曲がり部 1 a を、幅 W を有するリッジ構造部 3 の中心位置から内側にずらした構成である。この状態では、曲がり部 1 a の内周は、内側のリッジ構造部 3 の側面 3 a に近接、あるいは接している一方、曲がり部 1 a の外周は、外側のリッジ構造部 3 の側面 3 a から所定距離離れる。このように、曲がり部 1 a は、リッジ構造部 3 の内側方向にずらす構成とする他に、外側にずらす構成としてもよい。

【0025】

このときのずらし量は、放射損を減らすことができる方向に対して所定量行う。特に、図 8 に示すように、曲がり部 1 a と、この曲がり部 1 a の外周側に配置されたリッジ構造部 3 の側面 3 a との間の距離の設定によって放射損を抑えることができるようになる。一般に、光導波路において重要な光損失は、放射損と、散乱損である。上記の構成において、リッジ構造部 3 の幅 W を小さくすると、放射損の影響を少なくできるが、散乱損の影響が大きくなる。一方、リッジ構造部 3 の幅 W を大きくすると、散乱損の影響を小さくできるが、放射損の影響が大きくなる。散乱損は、上述したように、リッジ構造部 3 の側面 3 a の荒れによって生じる。このような条件に基づき、散乱損の影響を受けずに放射損を低く抑えることができるような、ずらし量を設定すればよい。

【0026】

次に、図 9 は、光導波路の他の変形例を示す平面図である。図 9 に示す構成は、変換部 5 の部分で曲がり部 1 a と、直線部 1 b の中心位置をずらした構成であ

る。一般に、光導波路の直線部と曲がり部の結合部分や、曲がり部同士の結合部分では、直線部における光の伝搬状態（フィールド）と、曲がり部における光のフィールドの相違による結合損（オフセット）が発生する。この結合損を小さく抑えるために、互いの結合を所定量ずらす構成が採られている（例えば、上記の特許文献1参照。）。このような軸ずれを設けることにより、それぞれの伝搬光の電界（あるいは磁界）分布をほぼ一致させて、結合損を抑えることができる。図9に示す構成のように、変換部5部分で曲がり部1aと、直線部1bの中心位置をずらすことにより、結合損と、曲がり部1aの放射損を抑えることができるようになる。なお、図9には、リッジ構造部3の中心位置に対して曲がり部1aの中心位置の配置をずらす構成（図8参照）を併せて記載しており、散乱損および放射損をより低く抑えることができるものである。

【0027】

次に、図10は、光導波路の他の変形例を示す平面図である。図10に示す構成は、リッジ構造部3の構成の変形例である。図10に示す構成においては、光導波路1の曲がり部1aと、直線部1bの結合部分におけるリッジ構造部3に所定のずれ量を有する段差を形成したものである。図10に示すように、光導波路1を構成している曲がり部1aと直線部1bの幅は一定である。また、図9同様に、リッジ構造部3の中心位置に対して曲がり部1aの中心位置の配置をずらす構成である。そして、光導波路1の直線部1bの中心位置と、この直線部1bの両側に設けたリッジ構造部3c、3dの中心位置とを一致させている。これによって、光導波路1の曲がり部1aのリッジ構造部3と、直線部1bのリッジ構造部3c、3dとの結合部分に所定のずれ量を有する段差が形成されることになる。このように、光導波路1の側部に設けるリッジ構造部3は、曲がり部1aで最適な配置状態と、直線部1bに対して最適な配置状態に合わせて、それぞれ個別に形成させることもできる。

【0028】

次に、図11は、光導波路の他の変形例を示す平面図である。図11に示す構成は、リッジ構造部3の構成の変形例である。例えば、図1に示すように、リッジ構造部3を光導波路1の曲がり部1a部分にのみ形成したときには、リッジの



始点、すなわち、光導波路 1 の直線部 1 b と、曲がり部 1 a の結合部分（変換部 5 の位置）で結合損が発生することがある。このような場合には、図示のように、リッジ構造部 3 を曲がり部 1 a のみに設けるのではなく、直線部 1 b 方向に所定量延出部 3 c, 3 d として突出形成させる。そして、これら延出部 3 c, 3 d は、それぞれ、結合部分の位置から離れるにしたがい、直線部 1 b から徐々に離れるように形成する。図 1 1 に示す例では、光導波路 1 の内側に位置する延出部 3 c は、リッジ構造部 3 の曲率と同じ曲率で内側に向かって形成され、光導波路 1 の外側に位置する延出部 3 d は、延出部 3 c と同じ曲率を有し、外側に向かって形成されている。このように、延出部 3 c, 3 d を形成することにより、リッジ構造部 3 を曲がり部 1 a に部分的に設けた場合であっても、結合部分（直線部 1 b と曲がり部 1 a の結合部分）における結合損の発生を抑えることができるようになる。

【0029】

次に、図 1 2 は、光導波路の他の変形例を示す平面図である。図 1 2 に示す構成は、図 1 1 を用いて説明した延出部のうち、外側の延出部 3 d のみを設けたものである。図 1 2 に示すように、光導波路 1 の外側に位置するリッジ構造部 3 に対して延出部 3 d を設けることにより、結合損を小さくすることができるようになる。

【0030】

（実施の形態 2）

実施の形態 2 では、実施の形態 1 により説明した光導波路 1 を用いた光デバイスについて説明する。光導波路 1 を用いた光デバイスとしては、光スイッチや光変調器などがある。

【0031】

図 1 3 は、光デバイスとしての光変調器を示す平面図である。図 1 6 に示した従来のマッハツェンダ干渉型の光変調器に設けられた光導波路の一部に曲げ部を形成したものである。

【0032】

図 1 3 に示す光変調器 1 0 の基板 1 1 上には、信号ライン 1 2 と、信号電極 1

2 a, 12 b と、接地電極 13 が形成されている。信号ライン 12 は、上述した作用長 L_0 の長さを満たす長さを有しており、略 U 字型に折り曲げられた曲がり部を有している。光導波路 1 は、信号ライン 12 に沿って配置され、信号ライン 12 に対して重なる部分に分岐部 1 c, 1 d が形成され、これら分岐部 1 c, 1 d 間に光導波路が 2 つ平行に配置されてなる。この光導波路 1 は、実施の形態 1 と同様に、曲がり部 1 a と、直線部 1 b を有しており、これら曲がり部 1 a と、直線部 1 b が光とマイクロ波の相互作用部となる。

【0033】

また、図 14 は、図 13 の断面図である。図 14 に示すように、光導波路 1 の全長に渡ってリッジ構造部 3 と、バッファ層 4 を設けている。リッジ構造部 3 の幅 W は直線部 1 b、曲がり部 1 a のいずれも常に一定な幅とすることにより、相互作用部全域に渡って、マイクロ波の速度を光の速度に整合させることができる。そして、図 14 (a) に示すように、光導波路 1 の直線部 1 b 部分 (A-A 断面) においては、リッジ構造部 3 の中心位置と、光導波路 1 の中心位置を一致させて形成する。また、図 14 (b) に示すように、光導波路 1 の曲がり部 1 a 部分 (B-B 断面) においては、リッジ構造部 3 の中心位置に対し、光導波路 1 の中心位置を外側のリッジ構造部 3 方向に所定のずらし量をもって配置させている。これにより、曲がり部 1 a 部分の放射損を低く抑えることができる。なお、上述した図 8 を用いた説明と同様に、放射損を減らすことができる方向であれば、光導波路 1 の曲がり部 1 a をリッジ構造部 3 の内周側に対して所定量ずらす場合もある。

【0034】

以上のように、実施の形態 2 により説明した光変調器 10 によれば、光導波路 1 を 180° 折り返した曲がり部 1 a を設けることにより、横方向の長さを図 16 に示した従来に比して短くすることができ、小型化を図ることができる。

【0035】

図 15 は、光デバイスとしての光変調器の他の構成例を示す平面図である。図 13 に示した構成に比べて、光導波路 1 の曲がり部 1 a の曲率を大きく設定した点が異なる。また、全体の幅 (図中縦方向) を小さくし、かつ、信号電極 12 a

、12b 部分にコネクタ接続用の余裕長 P を大きく取るために、入出力用の光導波路 1 の直線部 1b 同士の間隔を近接させている。これに対応して、直線部 1b の一部のうち、曲がり部 1a 側に向いた約半分は直線状ではなく、曲がり部 1a と、直線部 1b との間をつなぐ円弧部 1e を形成している。

【0036】

このように、光デバイスの大きさ（縦、横サイズ）や、コネクタ接続等の条件に合わせて、この光デバイス（基板 2）の大きさの範囲内で光導波路 1 を自在に形成することができる。図 15 に示す構成においても、図 14 に示したように、光導波路 1 に沿ってリッジ構造部 3 とバッファ層 4 を形成する。これにより、光導波路 1 の形状によらず、光損失（放射損および散乱損）を低く抑えることができるようになる。

【0037】

以上説明した実施の形態 2 により説明した光導波路 1 は、1 個所で 180° 折り返した略 U 字型の構成を例に説明した。図 13 および図 15 に示すように、光導波路 1 に 1 個所の折り返しを設けた場合には、光導波路 1 の光入力部と出力部は、光デバイスの同一側面に配置される。光導波路 1 は、2 個所で折り返しを行う略 S 字型の構成としたり、3 個所以上の折り返しを行う構成も考えられる。光導波路 1 の折り返し回数を増やすことにより、上述した作用長 L0 を長く設定することができ、位相差の可変領域を増やすことができるようになる。偶数回の折り返し時においては、光導波路 1 の光入力部と、出力部は、光デバイスの異なる側面にそれぞれ配置されることになる。

【0038】

ところで、実施の形態 2 では、マッハツェンダ型の光変調器について説明したが、この他に、位相変調器についても上記光導波路 1 を適用することができる。位相変調器において上記光変調器の構成と比較して、分岐部を設けず 1 本の光導波路で構成した点のみが異なる。この位相変調器においても、光導波路 1 上に電極を配してなる。このような位相変調器に設けられる光導波路 1 についても、上述した曲がり部 1a と、リッジ構造部 3 と、バッファ層 4 を設けることにより、光損失を低く抑え、小型化を達成することができる。

【0039】

以上説明した光導波路1は、位相変調器等の光変調器の他に光スイッチ等の他の電子デバイスについても適用することができ、これら電子デバイスにおける光損失を低く抑えつつ、小型化を図ることができるようになる。

【0040】

(付記1) 基板上に形成される光導波路の一部が曲がった曲がり部を有する光導波路において、

前記曲がり部の両側に位置する前記基板を、前記曲がり部の形状に沿って掘り下げ形成したリッジ構造部と、

前記リッジ構造部の少なくとも前記曲がり部に面する側面に、前記基板が有する屈折率よりも低屈折率の材質を用いて膜形成したバッファ層と、

を備えたことを特徴とする光導波路。

【0041】

(付記2) 前記リッジ構造部は、前記曲がり部の外側に形成したことを特徴とする付記1に記載の光導波路。

【0042】

(付記3) 前記バッファ層は、酸化シリコン (SiO_2) であることを特徴とする付記1または2に記載の光導波路。

【0043】

(付記4) 前記基板がニオブ酸リチウム (LiNbO_3) であることを特徴とする付記1～3のいずれか一つに記載の光導波路。

【0044】

(付記5) 前記曲がり部は、4mm以下の曲率で形成されたことを特徴とする付記1～4のいずれか一つに記載の光導波路。

【0045】

(付記6) 前記曲がり部は、5 μm 以上9 μm 以下の幅で形成されたことを特徴とする付記1～5のいずれか一つに記載の光導波路。

【0046】

(付記7) 前記曲がり部の幅を、前記リッジ構造部の幅一致させたことを特徴と

する付記 1 ～ 6 のいずれか一つに記載の光導波路。

【 0 0 4 7 】

(付記 8) 前記光導波路の前記曲がり部は、 90° 以上 180° までの折り返し角度を有して形成されたことを特徴とする付記 1 ～ 7 のいずれか一つに記載の光導波路。

【 0 0 4 8 】

(付記 9) 前記曲がり部の中心位置は、前記リッジ構造部の中心位置に対し内側あるいは外側に所定量ずれて配置したことを特徴とする付記 1 ～ 8 のいずれか一つに記載の光導波路。

【 0 0 4 9 】

(付記 1 0) 前記リッジ構造部は、前記曲がり部の幅に対して最大 $6\ \mu\text{m}$ 以下の幅を有することを特徴とする付記 1 ～ 9 のいずれか一つに記載の光導波路。

【 0 0 5 0 】

(付記 1 1) 前記リッジ構造部は、 $3\ \mu\text{m}$ 以上の深さを有することを特徴とする付記 1 ～ 1 0 のいずれか一つに記載の光導波路。

【 0 0 5 1 】

(付記 1 2) 前記リッジ構造部は、前記曲がり部の端部位置から外側に拡がる所定長さを有して形成したことを特徴とする付記 1 ～ 1 1 のいずれか一つに記載の光導波路。

【 0 0 5 2 】

(付記 1 3) 前記曲がり部の幅と、該曲がり部に結合される他の曲がり部あるいは直線部の幅が異なるとき、前記曲がり部と、前記他の曲がり部あるいは直線部との結合個所に、段差状の変換部を形成したことを特徴とする付記 1 ～ 1 2 のいずれか一つに記載の光導波路。

【 0 0 5 3 】

(付記 1 4) 前記変換部は、前記曲がり部と、前記他の曲がり部あるいは直線部との間で幅が徐々に変化するテーパ状に形成したことを特徴とする付記 1 3 に記載の光導波路。

【 0 0 5 4 】

(付記 15) 前記曲がり部と、該曲がり部に結合される他の曲がり部あるいは直線部との結合個所に、光の伝搬方向と垂直な方向に所定量の軸ずれ部を形成したことを特徴とする付記 1～付記 14 のいずれか一つ光導波路。

【0055】

(付記 16) 前記リッジ構造部は、前記曲がり部と、該曲がり部に結合される他の曲がり部あるいは直線部との結合個所に、光の伝搬方向と垂直な方向に所定量の軸ずれをもつことを特徴とする付記 1～15 のいずれか一つに記載の光導波路。

【0056】

(付記 17) 基板上に形成される光導波路の一部が曲がった曲がり部を有する光導波路と、

前記光導波路の前記曲がり部の両側に位置する前記基板を、前記曲がり部の形状に沿って掘り下げ形成したリッジ構造部と、

前記リッジ構造部の少なくとも前記曲がり部に面する側面に、前記基板が有する屈折率よりも低屈折率の材質を用いて膜形成したバッファ層と、

前記光導波路の上部に該光導波路に沿って配置された信号電極と、

を備えたことを特徴とする位相変調可能な光デバイス。

【0057】

(付記 18) 前記光導波路は、分岐部から 2 分岐する形で 2 つ平行に配置され、

前記 2 つの各光導波路の上部に、それぞれの光導波路に沿って配置された信号電極と、

を備えたことを特徴とする付記 17 に記載の位相変調可能な光デバイス。

【0058】

(付記 19) 前記光導波路は、前記信号電極に沿った相互作用部の形状が直線部と、前記曲がり部と有して形成され、

前記リッジ構造部は、前記光導波路の全長に渡り一定な幅を有することを特徴とする付記 17 または 18 に記載の光デバイス。

【0059】

(付記 20) 前記光導波路は、 180° の折り返しによる曲がり部と、

該曲がり部に連結され、前記光導波路に対する光の入出力部が同一の側面に位置する直線部と、

を有することを特徴とする付記 17～19 のいずれか一つに記載の光デバイス。

【0060】

(付記 21) 前記曲がり部は、一定な曲率を有する一定曲率部と、該一定曲率部と、前記直線部との間を連結させるための連続的に曲率が変化する円弧部と、

を有することを特徴とする付記 20 に記載の光デバイス。

【0061】

(付記 22) 基板上に光導波路を形成する光導波路の製造方法において、
光導波路となる曲がり部を含むパターン形成を、チタン (Ti) を用いて行うパターン形成工程と、

前記パターン形成工程により形成された前記チタンのパターンを高温中で熱拡散させる熱拡散工程と、

前記熱拡散工程により形成された光導波路のうち、前記曲がり部の両側、あるいは外側に位置する前記基板を、前記曲がり部の形状に沿ってエッチングによりリッジ構造部を掘り下げ形成するリッジ形成工程と、

前記リッジ形成工程により形成された前記リッジ構造部の少なくとも前記曲がり部に面する側面に、前記基板が有する屈折率よりも低屈折率の材質を膜形成するバッファ層形成工程と、

を含むことを特徴とする光導波路の製造方法。

【0062】

(付記 23) 前記熱拡散工程に代えて、前記光導波路をプロトン交換で形成させるプロトン交換工程を含むことを特徴とする付記 22 に記載の光導波路の製造方法。

【0063】

【発明の効果】

本発明によれば、光導波路に曲がり部を形成し、この曲がり部分の曲率を小さくした場合であっても、光損失を抑え、光導波路およびこの光導波路を用いた光

デバイスの小型化を図ることができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

この発明の光導波路の実施の形態 1 の構成を示す平面図である。

【図 2】

図 1 の断面図である。

【図 3】

この発明による光導波路の光損失を説明するための図表である。

【図 4】

この発明による光導波路の製造工程を説明するための図である。

【図 5】

光導波路の変形例を示す断面図である。

【図 6】

光導波路の他の変形例を示す平面図である。

【図 7】

変換部の他の構成例を示す部分平面図である。

【図 8】

光導波路の他の変形例を示す平面図である。

【図 9】

光導波路の他の変形例を示す平面図である。

【図 1 0】

光導波路の他の変形例を示す平面図である。

【図 1 1】

光導波路の他の変形例を示す平面図である。

【図 1 2】

光導波路の他の変形例を示す平面図である。

【図 1 3】

光デバイスとしての光変調器を示す平面図である。

【図 1 4】

図 1 3 の断面図である。

【図 1 5】

光デバイスとしての光変調器の他の構成例を示す平面図である。

【図 1 6】

従来の光デバイスの例として光変調器を示す平面図である。

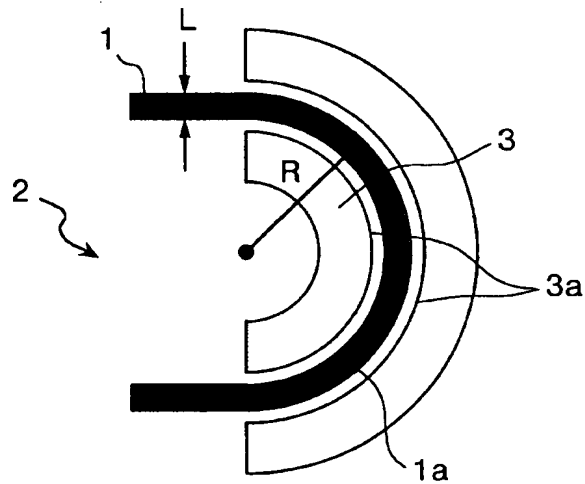
【符号の説明】

- 1 光導波路
 - 1 a 曲がり部
 - 1 b 直線部
- 2 基板
- 3 リッジ構造部
 - 3 a 側面
 - 3 c, 3 d 延出部
- 4 バッファ層
- 5 変換部
- 1 0 光変調器
- 1 1 基板
- 1 2 信号ライン
 - 1 2 a, 1 2 b 信号電極

【書類名】 図面

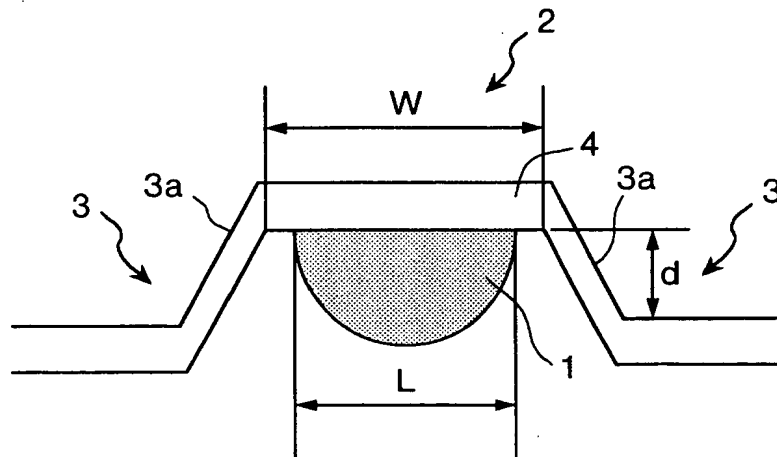
【図 1】

この発明の光導波路の実施の形態 1 の構成を示す平面図



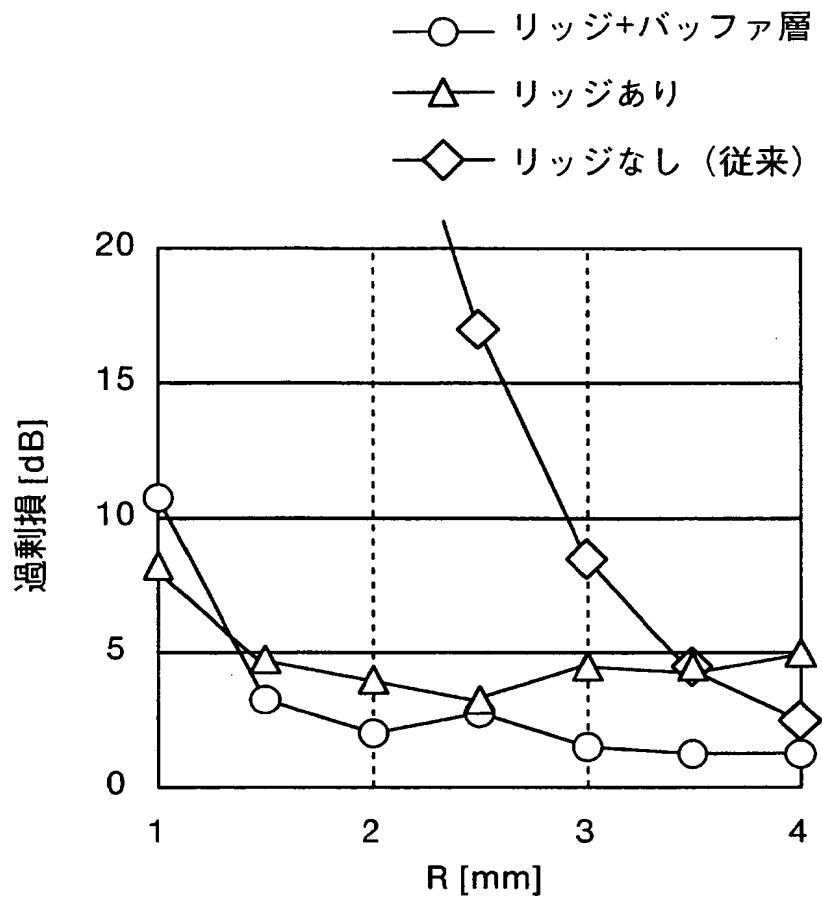
【図 2】

図 1 の断面図



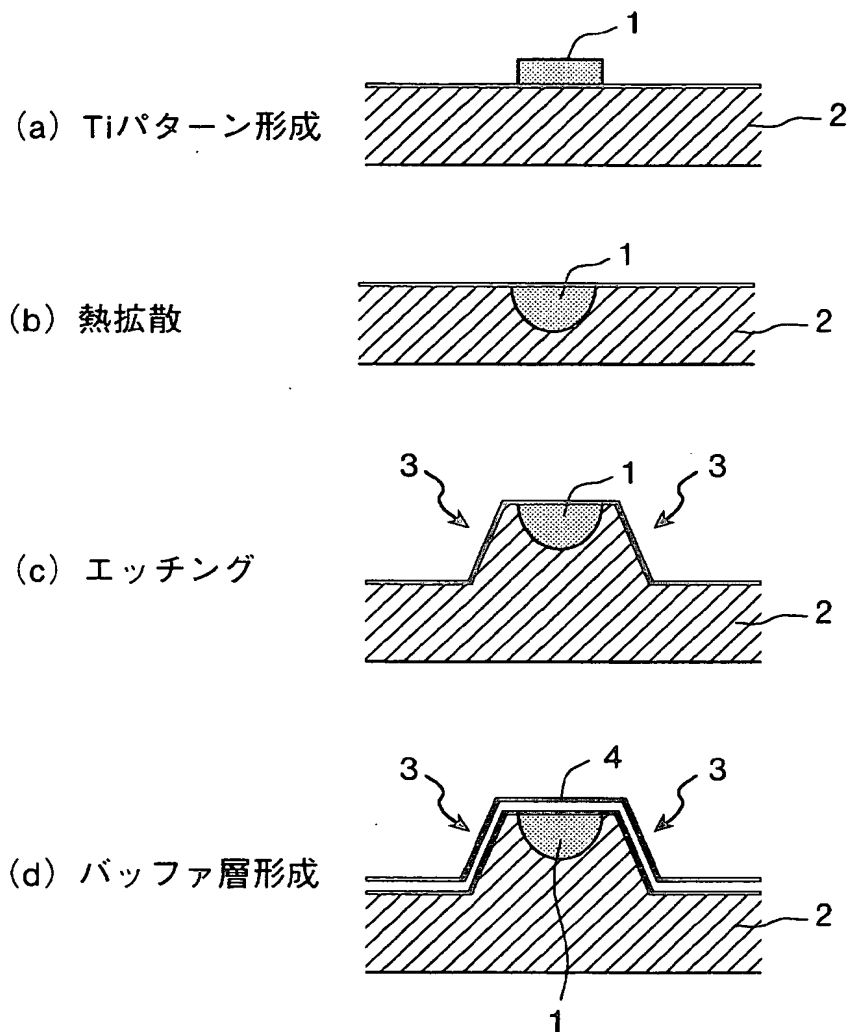
【図 3】

この発明による光導波路の光損失を説明するための図表



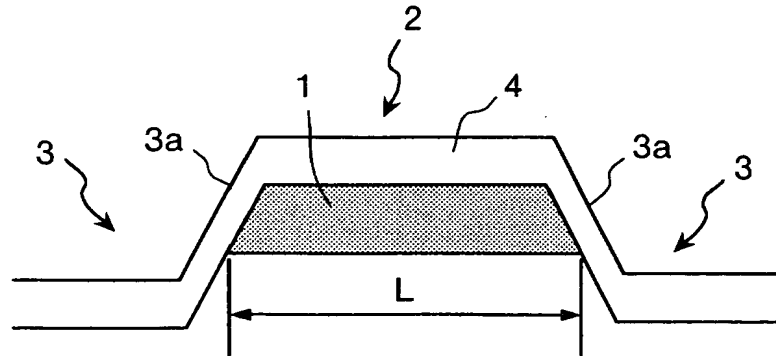
【図 4】

この発明による光導波路の製造工程を説明するための図



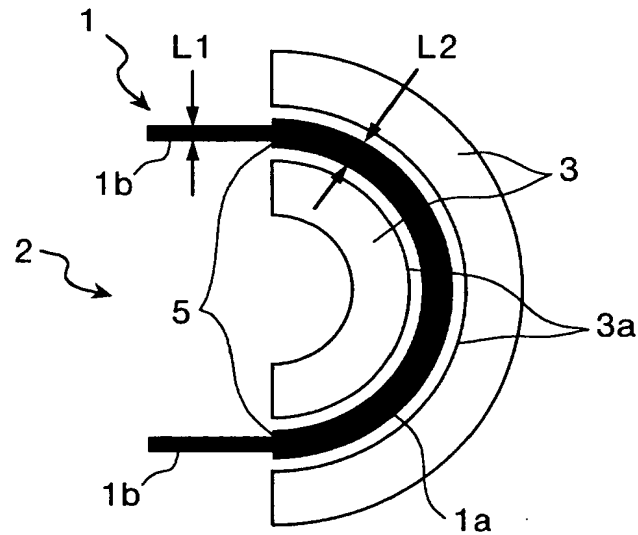
【図 5】

光導波路の変形例を示す断面図



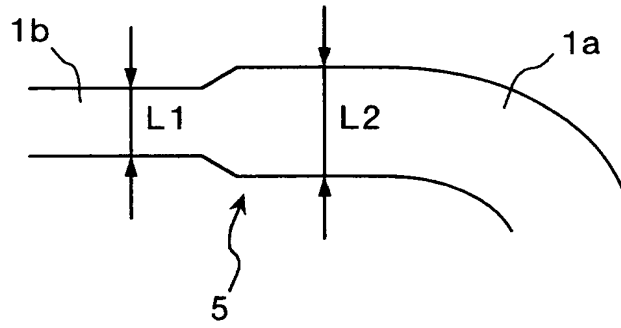
【図 6】

光導波路の他の変形例を示す平面図



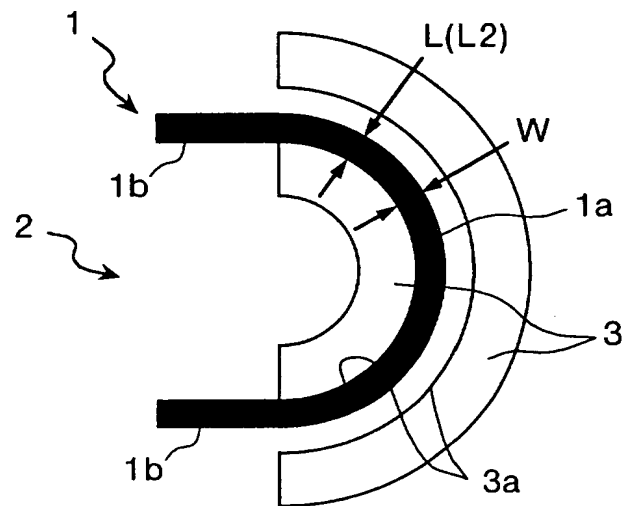
【図 7】

変換部の他の構成例を示す部分平面図



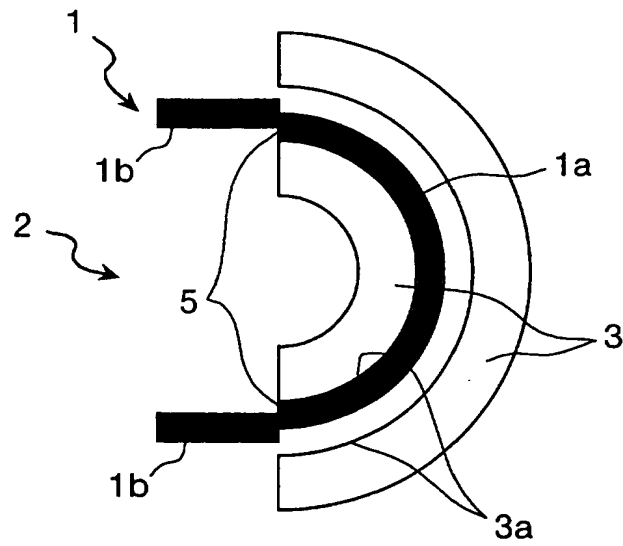
【図 8】

光導波路の他の変形例を示す平面図



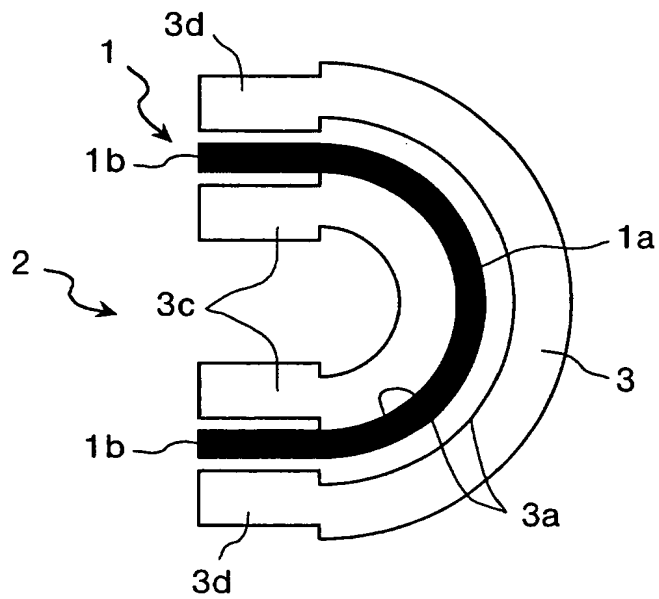
【図 9】

光導波路の他の変形例を示す平面図



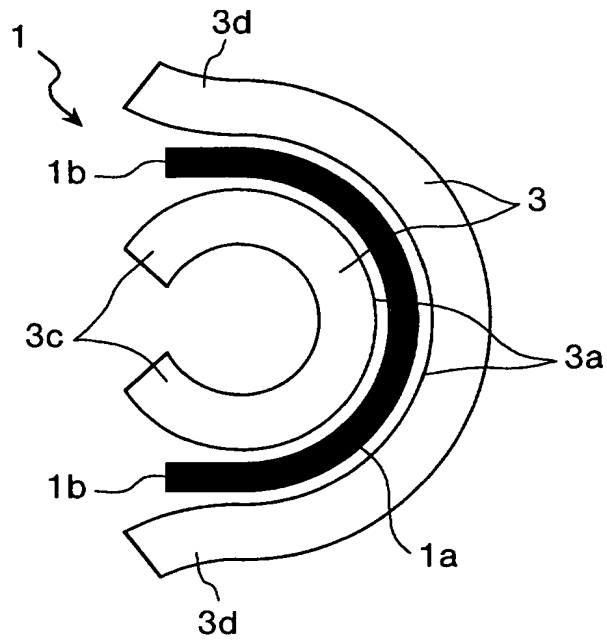
【図 10】

光導波路の他の変形例を示す平面図



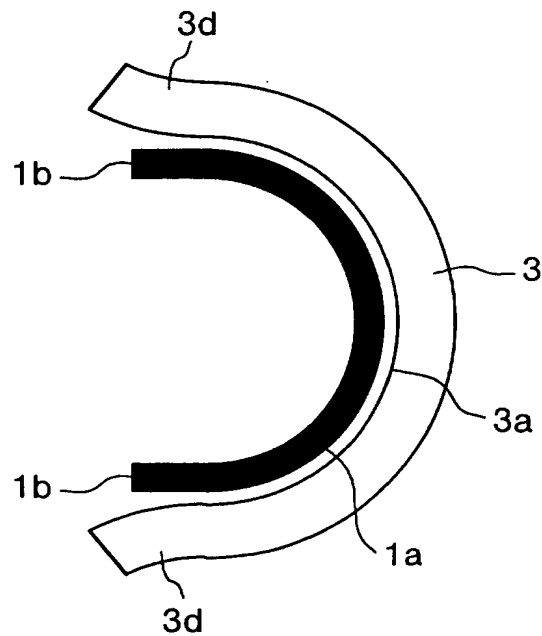
【図 11】

光導波路の他の変形例を示す平面図



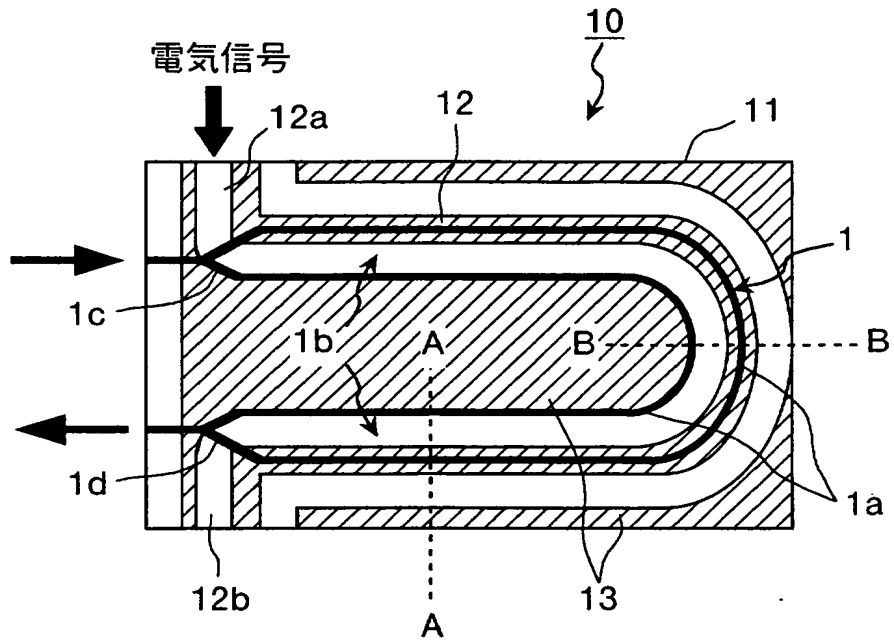
【図 12】

光導波路の他の変形例を示す平面図



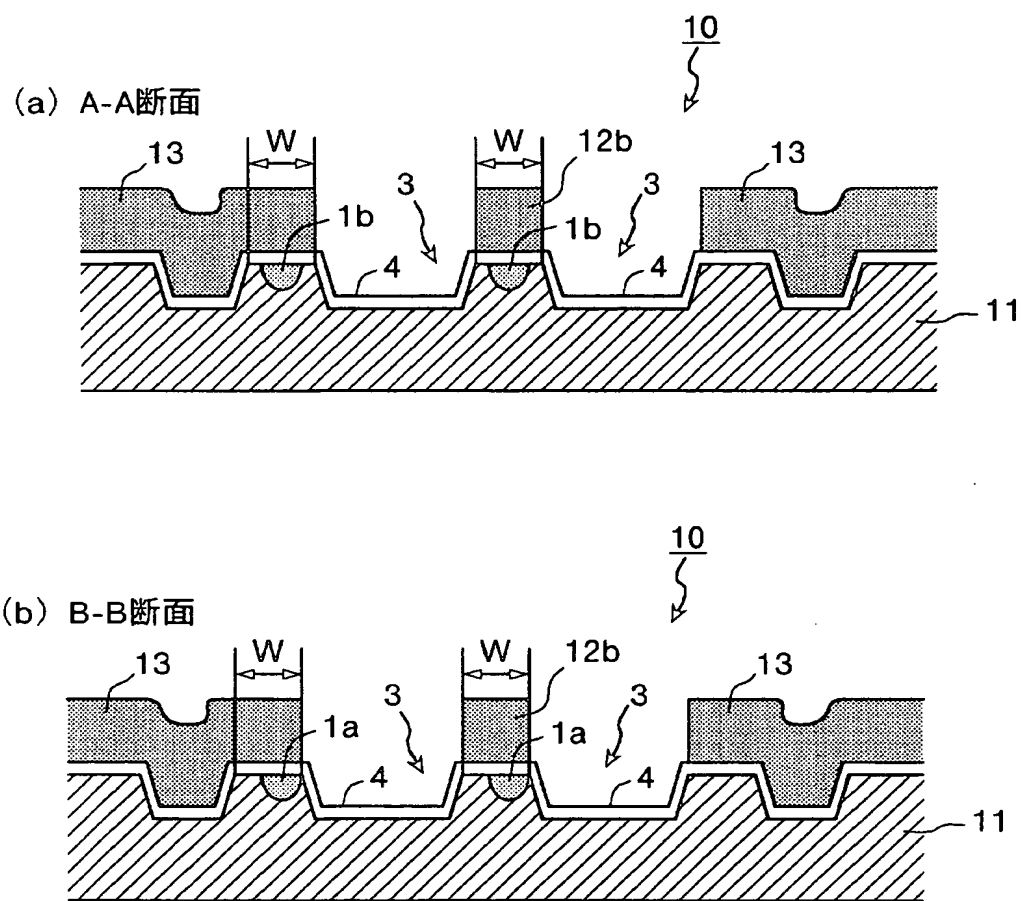
【図 13】

光デバイスとしての光変調器を示す平面図



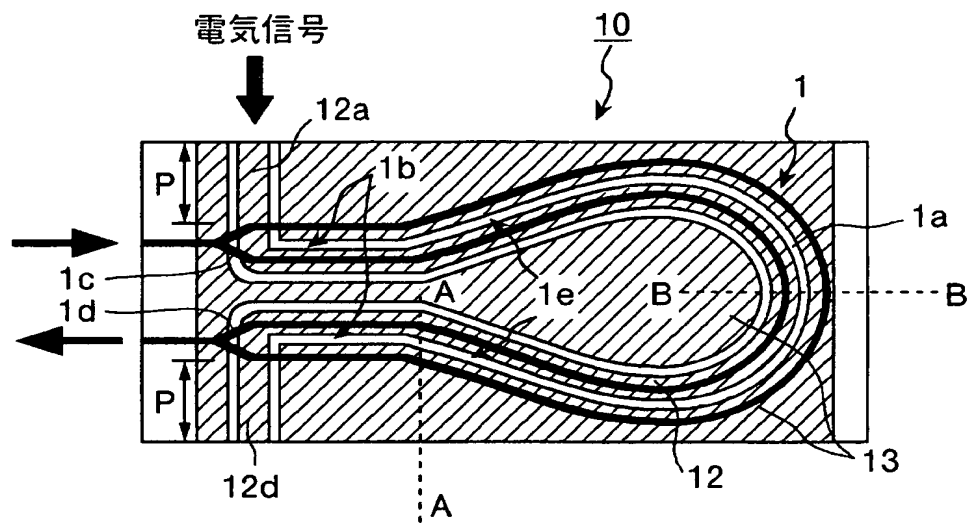
【図 14】

図 13 の断面図



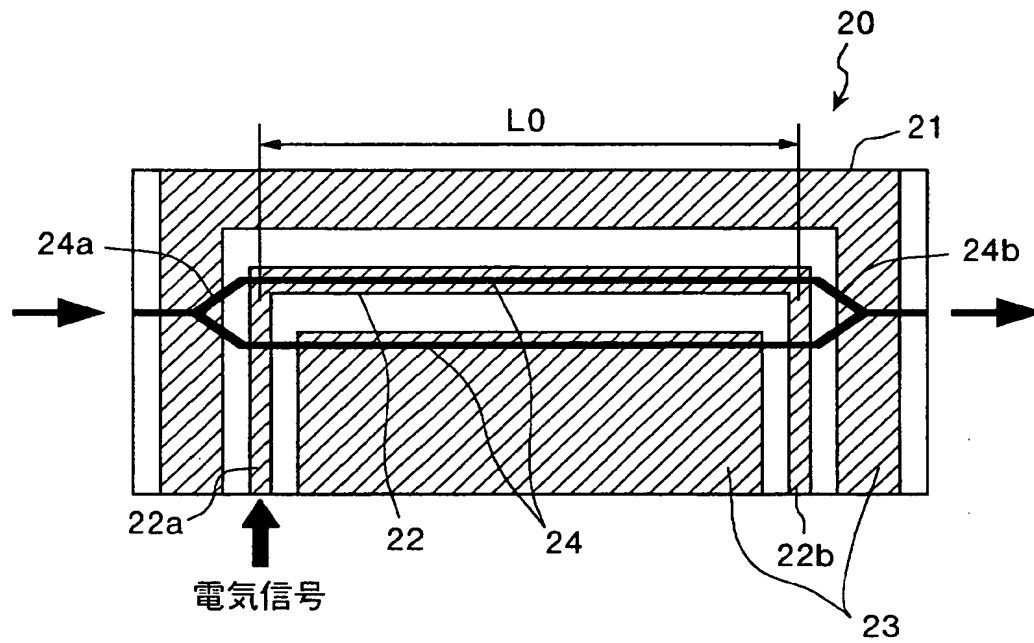
【図 15】

光デバイスとしての光変調器の他の構成例を示す平面図



【図 16】

従来の光デバイスの例として光変調器を示す平面図



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 小型で光損失を抑えることができること。

【解決手段】 チタンを拡散させて形成した光導波路 1 のうち、少なくとも曲がり部 1 a 部分の両側あるいは外側の基板 2 を掘り下げてリッジ構造部 3 を形成する。リッジ構造部 3 の側面 3 a には、基板 2 の屈折率より小さい屈折率を有する酸化シリコン等からなる膜状のバッファ層を設ける。リッジ構造部 3 は、側面 3 a により光のフィールドを閉じ込め、バッファ層は、散乱損を抑え、曲がり部 1 a における光損失を抑える。曲がり部 1 a を設けることにより、光導波路 1 を折り返すことができ、光導波路 1 が形成された光デバイスの小型化を図ることができる。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 0 7 9 1 1 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 2 2 3]

1. 変更年月日

1 9 9 6 年 3 月 2 6 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号

氏 名

富士通株式会社